

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR)
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

Veröffentlicht:

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Zur präventiven Erkennung von Instandhaltungsbedarf wird ein realer Prozess simuliert und die Simulation mit dem realen Prozess synchronisiert. Durch den Vergleich zwischen dem realen Prozess und der Simulation in verfahrenstechnischer Hinsicht lassen sich Störung frühzeitig erkennen und Instandhaltungsmaßnahmen entsprechend managen. Dadurch können Ausfallzeiten einer Anlage reduziert und einzelne Prozessschritte optimiert werden.

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur Instandhaltung

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Instandhaltung eines Systems, in dem ein Realprozess abgewickelt wird.

10 Üblicherweise werden erforderliche Instandhaltungsmaßnahmen ereignisgesteuert oder zeitgetriggert durchgeführt. Bei ereignisgesteuerten Instandhaltungsmaßnahmen wird eine Prozesskomponente ausgetauscht oder repariert, wenn diese ausgefallen ist. Demgegenüber werden bei zeitgetriggerten Instandhaltungsmaßnahmen in regelmäßigen Zeitabständen Wartungsmaßnahmen durchgeführt, wodurch ein Ausfall der Prozessanlage verhindert werden soll.

Die präventive Instandhaltung ist insbesondere bei sehr komplexen Anlagen von herausragender Bedeutung. Der Ausfall beispielsweise einer Produktionsanlage kann sehr hohe Kosten hervorrufen. Daher werden komplexe Anlagen häufig durch Sensoren überwacht, und die Messwerte dafür verwendet, um Instandhaltungsbedarf zu erkennen. Typischerweise werden hierzu Messwerte von Anlagenkomponenten erfasst und während des Prozesses mitgeschrieben. Aus den Veränderungen der Messwerte lassen sich Tendenzen erkennen, die unter Umständen Instandhaltungsmaßnahmen erfordern. So kann beispielsweise der Druck in einer Anlage im Laufe der Zeit ansteigen, was beispielsweise auf eine Verstopfung einer Rohrleitung hinweist. Darüber hinaus können Vibrationen Rückschlüsse auf einen Lagerverschleiß geben oder das Messen des Phasenwinkeldreiecks in einem Antrieb auf einen ungünstigen Schlupf hinweisen. Nicht bei jeder Anlage lassen sich jedoch die einzelnen Komponenten ständig auf Verschleiß und dergleichen überwachen. So kann eine Überwachung beispielsweise bei sehr hohen Prozesstemperaturen, sehr kompakter Anlagenbauweise oder zu hoher Komplexität von Einzelkomponenten unwirtschaftlich sein.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht somit darin, die Möglichkeiten zur Erkennung von Instandhaltungsbedarf von Anlagen und Systemen zu verbessern bzw. zu erweitern.

- 5 Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur Instandhaltung eines Systems durch Ausführen eines Realprozesses in dem System, Ausführen eines Simulationsprozesses zeitlich parallel zu dem Realprozess, wobei der Simulationsprozess zumindest einen Teil des Realprozesses simuliert,
- 10 Vergleichen des Simulationsprozesses mit dem Realprozess oder dem Teil davon unter Gewinnen eines Vergleichsergebnisses und Ableiten von Instandhaltungsmaßnahmen aus dem Vergleichsergebnis.
- 15 Ferner wird die oben genannte Aufgabe gelöst durch eine Vorrichtung zur Instandhaltung eines Systems, auf dem ein Realprozess mit einem oder mehreren Realprozessschritten ablaufbar ist, mit einer Simulationseinrichtung zum Simulieren zumindest eines Teils des Realprozesses durch einen Simulationsprozess, wobei der Simulationsprozess zeitlich parallel zu
- 20 dem Realprozess ausführbar ist, einer Vergleichseinrichtung zum Vergleichen des Simulationsprozesses mit dem Realprozess unter Gewinnen eines Vergleichsergebnisses und einer Steuereinrichtung zum Veranlassen einer Instandhaltungsmaßnahme auf
- 25 der Grundlage des Vergleichsergebnisses.

In vorteilhafter Weise kann mit der Erfindung damit eine produktionsgetriebene Instandhaltung ermöglicht werden, wobei die Simulation des Prozesses parallel zum realen Prozess abläuft. Dabei kann der Simulationsprozess beispielsweise mit

30 zugehörigen Produktionsparametern versorgt werden.

Weitere vorteilhafte Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung und des erfindungsgemäßen Verfahrens finden sich

35 in den Unteransprüchen.

Die vorliegende Erfindung wird nun anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert, in denen zeigen:

- 5 FIG1 ein Datenflussdiagramm eines realen Prozesses und
 eines erfindungsgemäßen parallel laufenden Simula-
 tionsprozesses;
- 10 FIG 2 ein Signalflussdiagramm zum Alarmieren und Vorhersa-
 gen von Instandhaltungsbedarf; und
- 10 FIG 3 ein Signalflussplan zur Durchführung von Instandhal-
 tungsmaßnahmen.

15 Die nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiele zeigen be-
 vorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung.

20 FIG 1 zeigt einen schematischen Signalflussplan einer Steue-
 rung eines realen Prozesses in der linken Hälfte des Bildes
 und eines parallellaufenden Simulationsprozesses in der rech-
20 ten Hälfte des Bildes. Zur Steuerung des realen Prozesses
 dient als Ausgangspunkt die Auftragssteuerung bzw. ein soge-
 nannter Scheduler. Mit den Auftragsdaten wird eine Rezept-
 steuerung (batch flexible) angesteuert. Aus einer Datenbank,
25 der Rezeptverwaltung, bezieht die Rezeptsteuerung das bzw.
25 die gewünschten Rezepte. Diese Ansteuerung ist sowohl für
 Stapelverarbeitungsprozesse (batch) als auch für kontinuier-
 liche Prozesse geeignet.

30 Die eigentliche Anlagensteuerung bzw. Automatisierung erfolgt
30 in dem mit „Sequenz Logik“ bezeichneten Block in FIG 1. Ein
 eigener Baustein zwischen der Rezeptsteuerung und der Sequenz
 Logik sorgt für die Koordination der Befehle hinsichtlich der
 Semantik.

35 Die Sequenz Logik steht mit mehreren Funktionsblöcken FB in
 Verbindung, die für die Automatisierung der einzelnen Schrit-
 te zuständig sind. Die Sequenz Logik und die Funktionsblöcke

tauschen dann über eine Eingabe/Ausgabe-Peripherie Befehle und Messwerte mit den Prozesskomponenten des realen Prozesses aus. Als Beispiel eines realen Prozesses könnte ein einfacher Produktionsprozess dienen, der in einer vereinfachten Anlage durchgeführt wird. Ein Behälter steht mit einem Reaktor über ein Rohr in Verbindung. In dem Reaktor befinden sich zwei Aggregate, ein Rührer und ein Heizaggregat. Der Behälter wird mit einem bestimmten Stoff gefüllt. Während des Produktionsprozesses könnte der Reaktor mit dem Stoff aus dem Behälter gefüllt werden und anschließend den eingefüllten Stoff heizen und rühren. Die entsprechenden Verfahrensschritte sind Füllen, Heizen und Rühren. Jeder dieser einzelnen Verfahrensschritte bzw. Grundoperationen besitzt eine eigene interne Sequenz von Befehlsschritten, die in der Sequenz Logik umgesetzt wird. Beispielsweise kann der Verfahrensschritt Füllen die Befehle umfassen: Überprüfe Zustand der Zellradschleuse, öffne Schieber, überprüfe Füllstand usw. In einem Rezept zur Herstellung einer bestimmten Substanz sind die einzelnen Verfahrensschritte exakt festgelegt. Ähnlich einem Kochrezept enthält das Steuerungsrezept Parameter wie Prozesszeiten, Prozesstemperaturen usw. Darüber hinaus wird eine bestimmte Abfolge der Verfahrensschritte vorgegeben.

In der Sequenz Logik werden die einzelnen Verfahrensschritte zur Abfolge gebracht und der jeweilige Anfang und das Ende zeitlich festgelegt. Unter Vorgabe der Sequenz Logik übernehmen Funktionsbausteine die Einzelsteuerung von Anlagenkomponenten.

In der rechten Seite des Bildes von FIG 1 ist ein entsprechender Simulationsprozess dargestellt. Wie das reale Prozesssystem besteht das Simulationssystem aus einem Koordinationsbaustein mit nachfolgender Sequenz Logik und Equipment-Funktionsbausteinen. Die Eingabe/Ausgabe-Peripherie des realen Prozesses wird durch eine logische Peripherie simuliert. Der reale Prozess selbst muss zum einen in seinen Komponenten als auch in dem Verfahrensablauf selbst simuliert werden. Die

Komponenten werden in einer sogenannten Equipmentsimulation simuliert und die Verfahrenssimulation findet durch geeignete Zusammenschaltung der Equipmentsimulationsbausteine statt.

- 5 Aus einer Bibliothek mit RB-Klassen (Reaktionsbausteine) kann die logische Peripherie und die Equipmentsimulation durch einen Semantikmanager automatisch generiert werden.

10 Equipment-Stammdaten, Stoff-Stammdaten, Rohrleitungs-Stammdaten etc. fließen in die Verfahrenssimulation ein. Equipment-Stammdaten sind beispielsweise der Durchmesser von Behältern, Leistungsmerkmale von Ventilen, Pumpen usw. Stoff-Stammdaten sind Mengen, Körnung usw. des verwendeten Stoffes. Schließlich geben die Rohrleitungs-Stammdaten Abmessungen und sonstige relevante Größen der verwendeten Rohrleitungen wieder.
15 Sämtliche Stammdaten können in Bibliotheken hinterlegt werden.

20 Erfindungsgemäß wird nun der reale Prozess mit dem Simulationsprozess synchronisiert. Dadurch findet ein Parallellauf beider Prozesse statt, so dass ein unmittelbarer Vergleich der Prozessergebnisse ermöglicht wird. Dabei muss nicht der gesamte reale Prozess simuliert werden, sondern es kann beispielsweise ein besonders kritischer Prozessschritt, der bei-
25 spielsweise eine ständige Überwachung erfordert, simuliert werden.

Die Verfahrenssimulation wird günstiger Weise von der Auftragssteuerung des realen Prozesses mitgesteuert. Es kann
30 aber für die Simulation auch eine separate Steuerung vorgesehen werden. Darüber hinaus bezieht die Verfahrenssimulation die Rezepte vorzugsweise aus der Rezeptverwaltung des realen Prozesses. Diese unmittelbare Angliederung an den realen Prozess ist mit eine Voraussetzung für ein automatisches Engineering der Simulation. Jedenfalls ist sie hierfür ausge-
35 sprochen hilfreich.

Durch die Simulation lassen sich die gesamte Anlage und/oder wesentliche Anlagenteile als virtuelle Anlage nachbilden. Durch das gezielte Nachbilden von Anlagenteilen und das vergleichen der jeweiligen virtuellen und realen Verfahrensschritte lässt sich Instandhaltungsbedarf je nach Größe der Simulationskomponente entsprechend gut lokalisieren. So können beispielsweise kritische Anlagenteile in feinere Verfahrensschritte unterteilt werden, so dass der Instandhaltungsbedarf besser lokalisiert werden kann. Bei unkritischen Anlagenteilen können mehrere Komponenten sowohl beim Vermessen des realen Prozesses als auch bei der Simulation zusammengefasst werden. Stellt sich nun aufgrund des Vergleichs der Resultate von Verfahrensschritten im realen und virtuellen Prozess eine feste Abweichung oder eine zeitlich zunehmende Abweichung heraus, so können entsprechende Instandhaltungsmaßnahmen eingeleitet werden.

Erfindungsgemäß wird das verfahrenstechnische Verhalten einer Anlage untersucht, um Instandhaltungsbedarf frühzeitig erkennen zu können. Es wird also beispielsweise nicht die Vibration einer Pumpe gemessen, um Rückschlüsse auf einen Lagerverschleiß ziehen zu können, sondern es wird der Durchfluss gemessen und mit einem simulierten Idealdurchfluss verglichen, um die Alterung der Pumpe erkennen zu können.

In einer Weiterentwicklung könnte auch das Verhalten des in der Anlage befindlichen und verarbeiteten Stoffes simuliert werden. Aus dem simulierten und realen chemischen Umformungsprozess könnten Rückschlüsse auf die Anlage gezogen werden. So könnten beispielsweise Abweichungen im physikalischen Zustand eines Stoffes, z.B. Viskosität, darauf hinweisen, dass ein Kühlgerät defekt ist. Ebenso könnten beispielsweise Abweichungen zwischen simuliertem und gemessenem PH-Wert darauf hindeuten, dass ein Rührer defekt ist.

Ob nun für Diagnosezwecke die physikalischen Parameter des in der Anlage befindlichen Stoffes oder typische Anlagengrößen

wie der Durchsatz verwendet werden, ist zweitrangig, solange erfindungsgemäß der Simulationsprozess parallel zum realen Prozess verläuft und Einzelergebnisse von Verfahrensschritten oder Gesamtergebnisse der Gesamtverfahren verglichen werden.

5 Für den jeweiligen Vergleich ist es notwendig, dass der Anfang und das Ende eines jeden zu vergleichenden Verfahrensschritts definiert und erkannt wird. Ebenso lassen sich eindeutige Indikatoren für Instandhaltungsbedarf ermitteln. So können beispielsweise unüblich lange Füllzeiten oder auch
10 lange Heizzeiten erkannt werden, die vom normalen Anlagenbetrieb abweichen. Diese Abweichungen müssen nicht zum Ausfall der gesamten Anlage oder zur Produktion von Ausschuss führen, sondern bedeuten unter Umständen lediglich, dass die Anlage nicht am projektierten Optimum fährt.

15 Je nach Größe der Abweichungen können die entsprechenden Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden. So kann bei einer geringen Abweichung zwischen dem realen und dem simulierten Prozess lediglich eine Warnung an das Instandhaltungsteam geleitet werden. Bei größeren Abweichungen könnte eine Störmeldung abgesetzt werden, die einen unmittelbaren Wartungsbedarf signalisiert.

25 Die Diagnoseinformationen, die man vom Parallellauf des realen und simulierten Prozesses erhält, kann auch zur Optimierung der Anlage verwendet werden. Wird beispielsweise die Anlage mit einer geänderten Rezeptur gefahren, so ändern sich die Verfahrensschritte und/oder deren Reihenfolge. Die Anlagensteuerung bzw. der Scheduler setzt das neue Rezept in
30 Zeitabläufe bzw. Zeitscheiben um. Bei Vielstoffanlagen beispielsweise sind diese Zeitscheiben in Abhängigkeit der verschiedenen Stoffe und Anlagenkomponenten zu koordinieren. Ziel dabei ist, alle Anlagenteile möglichst optimal auszulasten. Um das Scheduling online zu verbessern, kann der Si-
35 mulationsprozess parallel zum realen Prozess laufen. Dadurch lässt sich eine Optimierung erzielen, ohne dass die Anlage still stehen muss.

Wie bereits erwähnt, bedingt ein aussagekräftiger Vergleich zwischen realen und simulierten Prozessschritten eine genaue Synchronisation. Dabei ist auch ein exakter Ausgangspunkt festzulegen, was durch das Initialisieren erfolgt. Wie in FIG 1 durch eine gestrichelte Linie angedeutet ist, kann das Initialisieren des Simulationsprozesses durch die Sequenz Logik der Originalanlage online gesteuert werden. So kann beispielsweise gewährleistet werden, dass ein Behälter in der Originalanlage und bei der Simulation in einem bestimmten Verfahrensschritt eines bestimmten Rezepts jeweils einen definierten Füllstand hat.

Die einfachen Pfeile in FIG 1 bedeuten dabei signaltechnische Verknüpfungen oder Aktionsverknüpfungen und die Doppelpfeile Datenverbindungen, die beispielsweise zum Parametrieren und Engineering erforderlich sind.

FIG 2 zeigt einen schematischen Signalflussplan zur Gewinnung einer Instandhaltungsanforderung aufgrund der Diagnose, die sich aus dem Vergleich zwischen dem realen Prozess und dem parallellaufenden Simulationsprozess ergeben hat. Erläuterungen zu den Bausteinen finden sich in der Tabelle am Ende der Beschreibung.

FIG 3 zeigt einen Signalflussplan, der die Weiterverarbeitung einer Instandhaltungsanforderung in einem Instandhaltungsmanagement zeigt. Demnach werden Servicemaßnahmen ausgeführt, wenn dies aufgrund einer Informationsbeschaffung, einer Material/Ressourcen-Beschaffung, einer Instandhaltungsplanung und der Instandhaltungsanforderung erforderlich ist. Die Material/Ressourcen-Verwaltung und das Budget wirkt sich dabei auf die Instandhaltungsplanung aus. Darüber hinaus dient das Anlagenmodell zur Informationsbeschaffung.

Tabelle

Komponente	Funktion	Aufgabe
<u>PLC</u>	Logik in TF	<p>Folgemeldungsunterdrückung Beispiel 1: Ausfall Melde- spannung bringt (gleich- zeitig) alle Meldungen aus der von der Meldespannung gespeisten Überwachungs- schleife („Kontakte“). Beispiel 2: Im Vor-Ort Be- trieb (von einem Repara- turschalter aus) müssen Meldungen unterdrückt wer- den.</p> <p>Bausteinmeldung Beispiel 1: Rückmeldeüber- wachung (Schutzrückmel- dung, Drehzahlrückmeldung, Laufzeitmeldung) Beispiel 2: Betriebsarten- umschaltung</p>
	Prozessdatenerfassung	Für übergreifende Logik erforderliche Prozesswerte bereitstellen (event- getriggert, bei Messwerten auf Änderung mit Totband)
	Logik zwischen TF's	<p>Technologische Überwachung einer PLT Stelle Beispiel 1: Sollwert Sprung auf Regler muss An- stieg des Istwerts zur Folge haben. Beispiel 2: Stellgröße ei-</p>

		<p>nes Reglers wird größer ohne Sollwertänderung (Ventilsitz Verschleiß).</p> <p>Beispiel 3: Druck- oder Durchflussmessung bei Pumpengruppe</p>
	Nutzungsabhängige Wartung	<p>Schaltspiel-/Laufzeitähler</p> <p>Betriebsstunden bzw. Schaltspiele zählen, bei Überschreiten eines parametrisierten Grenzwerts IH Anforderung erzeugen</p>
	Schnittkettenüberwachung	Zeitüberwachung auf Weiserschaltbedingung
<u>PDM</u>	Scannen Feldgeräte	<p>Information aus intelligenten Feldgeräten</p> <p>PDM (AMS) scannt die erreichbaren Feldgeräte und transferiert (durch Parametrierung ausgewählte) Meldungen</p> <p>Lebendüberwachung von intelligenten Feldgeräten</p> <p>PDM (AMS) scannt die projektierten Feldgeräte und erzeugt Meldung, wenn ein projektiertes Gerät nicht erreicht werden kann.</p>
	Soll/Ist Vergleich Projekt	<p>Vergleich Projektierung - as is</p> <p>PDM (AMS) scannt die er-</p>

		reichbaren Feldgeräte und erzeugt Meldung, wenn Projektierung ungleich as is (gelesenes Feldgerät nicht im Projekt).
<u>CBA</u>		
<u>CM</u>	Condition Monitoring	Beispiel 1: Schwingungsüberwachung bei Maschine Beispiel 2: Electrical fingerprint bei Motor Beispiel 3: HISS (Riechen, Hören, Schmecken)
<u>HMI</u>	Bedienung von Betriebsart oder Rezeptparametern	Beispiel: Parameter „Regelabweichung“ für Fehlermeldung betriebsartenabhängig
	Alarme	Projektierte Alarme = IH Anforderung
<u>Diag</u>	Anlagenverhalten	Vergleich des aktuellen Anlagenverhaltens mit der Historie Beispiel 1: Wie lange hat es bisher gedauert, Material x in Unit y von m auf n % Füllhöhe zu bringen? Vergleich mit aktuellem Schritt. IH Anforderung über User Aktion mit GUI-Unterschützung. User erzeugt IH Anforderung Erforderlich: Archiv Anla-

		genverhalten oder (mindestens) parametrisierte Vergleichswerte
	Logik zwischen TF's	Technologische Überwachung eines Anlagenteils Logik oder Regeln übergreifend über mehrere PLT-Stellen (ggf. auf mehreren PLC's)
	Diagnosemeldung	Meldungshäufigkeit Beispiel 1: Bestimmte Meldenummern von einem bestimmten TP werden (interaktiv) „auf Diagnose gesetzt“ und ab dann kontinuierlich überwacht bis eine vermutete Fehlerursache erkannt/analysiert ist. Beispiel 1: Verdacht auf erhöhte Ausfallrate eines Antriebs: Die Meldenummern, Schutzrückmeldung und Bimetallmeldung erzeugen eine Diagnosemeldung, wenn pro Schicht mehr als 5 Meldungen auftraten.
	Auswertung Simulation	Ergebnis der Verfahrens-/Equipmentsimulation mit realen Verfahrens/Anlagenergebnissen vergleichen. Regeln zur Entscheidung, wann ein Vergleich zwischen Simulationsergebnis

		und Ist-Anlage gut/ schlecht ist und (bei Ver- fahrenssimulation) Zuwei- sung zu asset.
	Auswertung Verhalten	<p>Wert aus Archiv Anlagen- verhalten oder aus Anla- genverhalten (mit festen Werten, die bei IBS/Probe- betrieb ermittelt werden) vergleichen mit realen An- lagenergebnissen ver- gleichen. Ansonsten wie oben.</p> <p>Anmerkung: Auswertung Simulation ist vorteilhaft bei Vielzwe- ckanlagen, bei denen die durch die Vielfalt der Produkte/Rezepte ein aus- sagefähiges Archiv Anla- genverhalten nicht gewähr- leistet ist. Auswertung Verhalten ist vorteilhaft bei „Ein- zweck“-Anlagen und Conti- /Semiconti-Anlagen.</p>
<u>Sim</u>	Verfahrenssimulation	<p>Technologische Überwachung von Rezeptschritten SIMIT hat Modelle der An- lagen GO's (Rühren, Hei- zen, Füllen usw.). Jedes einzelne Modell hat Para- meter (Stoff-, Unit- und Produktparameter). Die Si-</p>

		<p>mulation läuft unter BF Kontrolle (BF gibt den Schrittstart mit dem für den Schritt gültigen Parametersatz und dem Ende-Kriterium (z. B. Endtemperatur 92 °C) an SIMIT. SIMIT startet Simulation und gibt nach Erreichen des Ende-Kriteriums den für die GO definierten Ergebnisparametersatz an Diag.</p> <p>SIMIT beherrscht (noch) keine Stoffumwandlungen, solche Operationen (z.B. „Reaktion“, „Synthese“) müssen durch einfache empirische Gleichungen nachgebildet werden, wenn mehrere GO's in einer „Simulationskette“ durchlaufen werden sollen.</p> <p>Weil dieses Verfahren unter der Kontrolle von BF abläuft, sind keine projektspezifischen Engineeringarbeiten erforderlich. SIMIT braucht „nur“ verfahrens-/projektneutrale Modelle.</p>
	Equipmentverhalten	<p>Technologische Überwachung des Equipmentverhaltens</p> <p>SIMIT hat Modelle des (technologischen) Equipmentverhaltens (z. B. Widerstands-Heizelement mit</p>

		<p>Zeitverhalten, Wärmeübergang, Wärmefluss im Stoff usw.).</p> <p>Ansonsten sinngemäß wie oben</p>
<u>Arch</u>	Archiv Anlagenverhalten	<p>Historie des Produkt- und Stoff/materialabhängigen Zeitverhaltens von Teilanlagen, Units, Equipments und entsprechende (feste) Parameter.</p> <p>Unterschiedliche Ausprägungen bei Prozess- und diskreter (Fertigungs-)Industrie:</p> <p>Prozessindustrie: Objekte sind Ablaufschritte z. B. Füllen, Heizen usw. und Equipments (S 88), nicht die Objekte des Anlagenmodells z. B. Pumpe, Regelventil usw.</p> <p>Diskrete Industrie: Objekte sind die „Maschinen“ des Anlagenmodells.</p>

Patentansprüche

1. Verfahren zur Instandhaltung eines Systems durch

5 Ausführen eines Realprozesses in dem System,

g e k e n n z e i c h n e t d u r c h

10 Ausführen eines Simulationsprozesses zeitlich parallel zu dem Realprozess, wobei der Simulationsprozess zumindest einen Teil des Realprozesses simuliert,

15 Vergleichen des Simulationsprozesses mit dem Realprozess oder dem Teil davon unter Gewinnen eines Vergleichsergebnisses und Ableiten von Instandhaltungsmaßnahmen aus dem Vergleichsergebnis.

20 2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei zum Ausführen des Simulationsprozesses ein Synchronisieren mit dem Realprozess stattfindet.

25 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Simulationsprozess und der Realprozess jeweils mehrere Schritte umfassen und mindestens je einer der Schritte zum Ableiten von Instandhaltungsmaßnahmen miteinander verglichen werden.

30 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das Vergleichen anhand von Endergebnissen des Realprozesses und des Simulationsprozesses betreffend insbesondere verfahrenstechnische Größen und/oder von Teilergebnissen von einem oder mehreren Schritten des Realprozesses und des Simulationsprozesses betreffend insbesondere verfahrenstechnische Größen erfolgt.

35 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Realprozess und der Simulationsprozess zusammen von einer

einzigsten Steuereinrichtung gesteuert werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei eine
Instandhaltungsmaßnahme ein Alarm und/oder ein Aktivieren
5 eines Instandhaltungssystems ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei aus ei-
ner Realprozessesstruktur eine Simulationsprozessesstruktur au-
tomatisch erzeugt wird, insbesondere unter Verwendung eines
10 generischen Simulationsmodells.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der Si-
mulationsprozess mit Stoff- und/oder Produktionsparametern
aus dem Realprozess versorgt wird.
15

9. Vorrichtung zur Instandhaltung eines Systems, auf dem ein
Realprozess mit einem oder mehreren Realprozessschritten ab-
laufbar ist,

20 g e k e n n z e i c h n e t d u r c h

eine Simulationseinrichtung zum Simulieren zumindest eines
Teils des Realprozesses durch einen Simulationsprozess, wobei
der Simulationsprozess zeitlich parallel zu dem Realprozess
25 ausführbar ist,

eine Vergleichseinrichtung zum Vergleichen des Simulations-
prozesses mit dem Realprozess unter Gewinnen eines Ver- .
gleichsergebnisses und
30

eine Steuereinrichtung zum Veranlassen einer Instandhal-
tungsmaßnahme auf der Grundlage des Vergleichsergebnisses.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, wobei der Simulationsprozess
35 in der Simulationseinrichtung mit dem Realprozess synch-
ronisierbar ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, wobei der Simulationsprozess und der Realprozess jeweils mehrere Schritte umfassen und mindestens je einer der Schritte in der Vergleichseinrichtung miteinander vergleichbar sind.

5

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei in der Vergleichseinrichtung das Vergleichen anhand von Endergebnissen des Realprozesses und des Simulationsprozesses betreffend insbesondere verfahrenstechnische Größen und/oder

10

von Teilergebnissen von einem oder mehreren Schritten des Realprozesses und des Simulationsprozesses betreffend insbesondere verfahrenstechnische Größen durchführbar ist.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, wobei der Realprozess und der Simulationsprozess zusammen von einer einzigen Steuereinrichtung steuerbar ist.

15

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13, die in ein Instandhaltungssystem eingebettet ist.

20

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 14, wobei aus einer Realprozessesstruktur eine Simulationsprozessesstruktur automatisch, insbesondere unter Verwendung eines generischen Simulationsmodells erzeugbar ist.

25

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 15, wobei die Simulationseinrichtung mit Produktionsparametern aus dem Realprozess versorgbar ist.

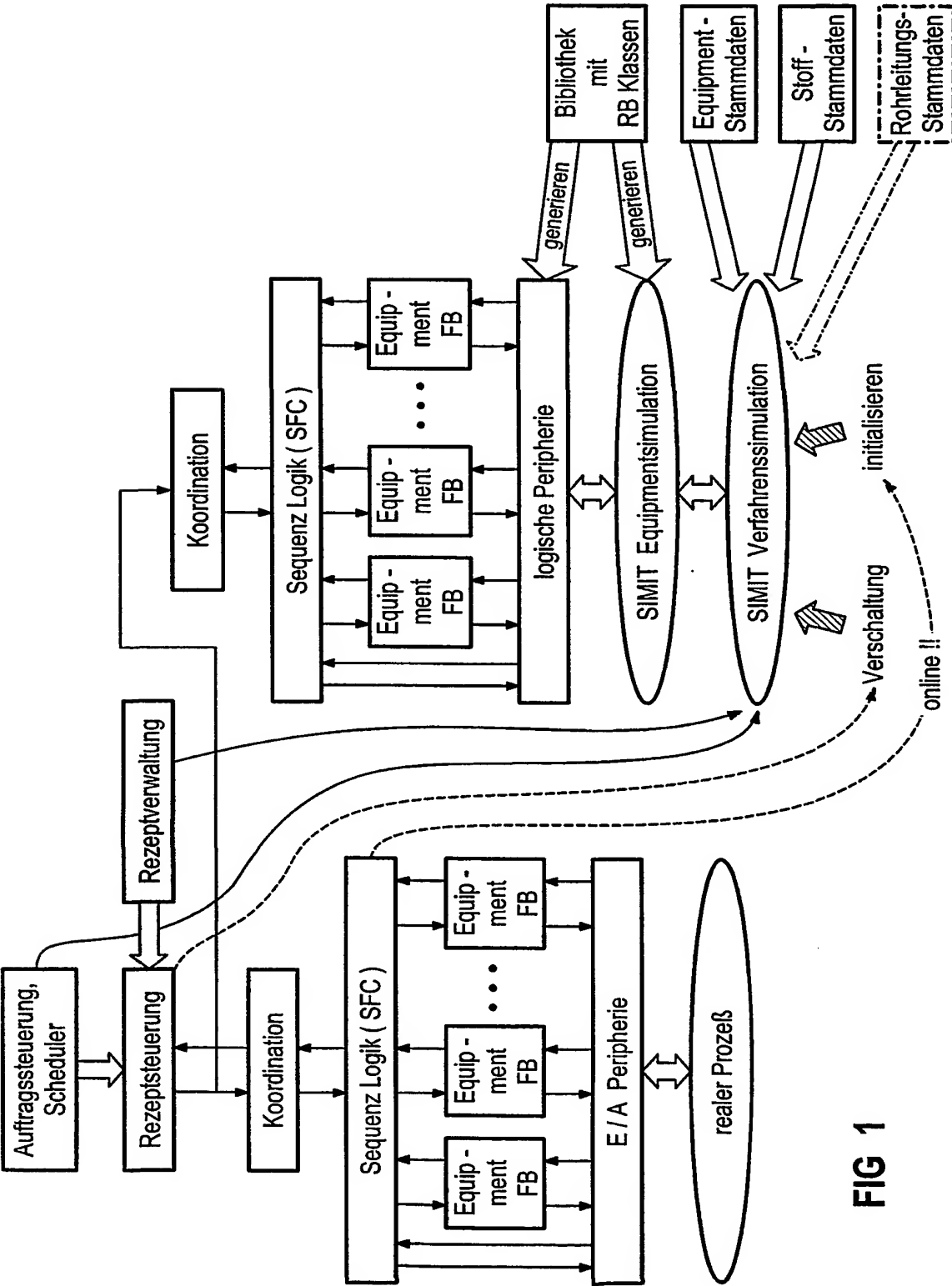
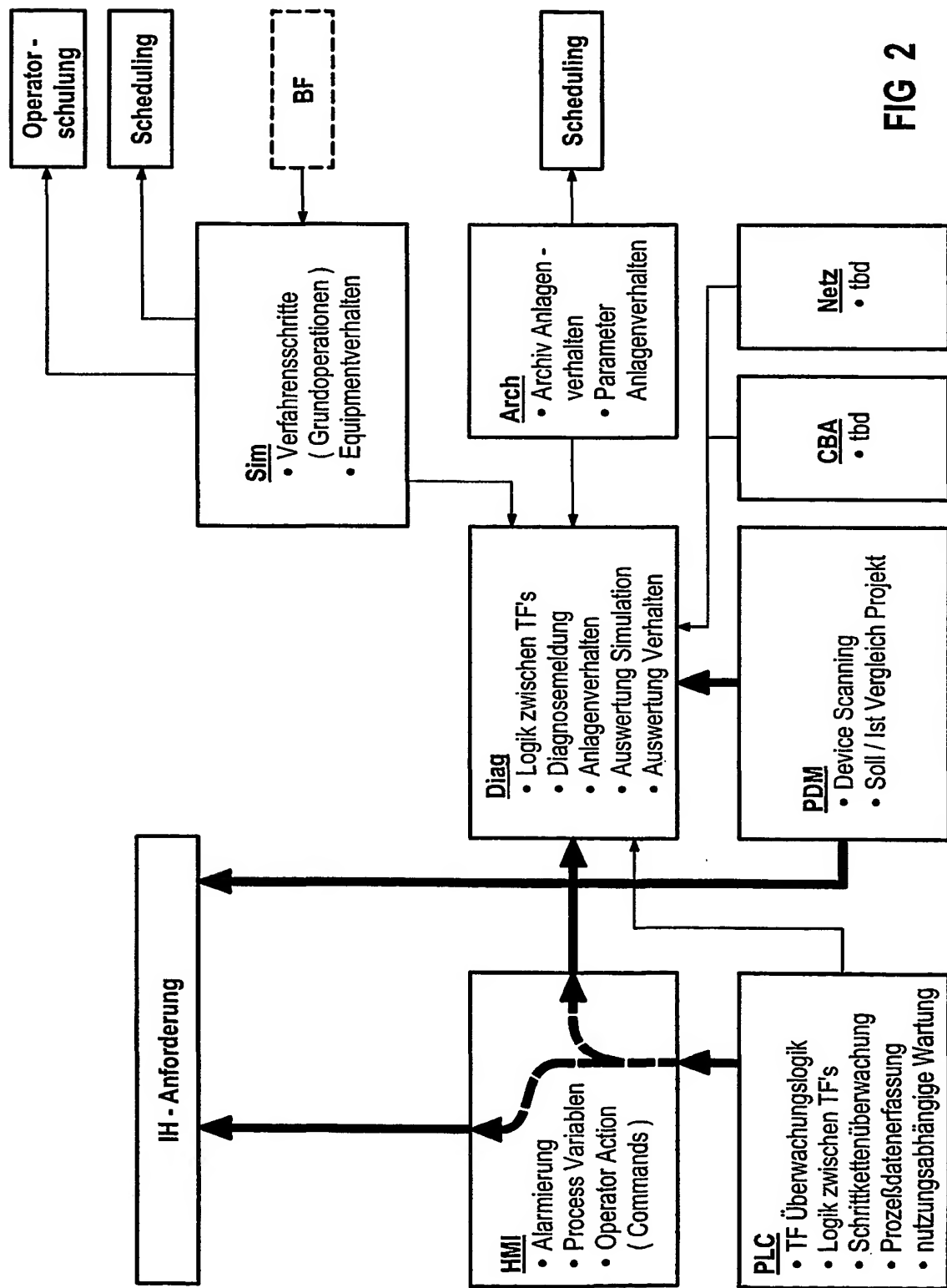


FIG 1

2 / 3



3 / 3

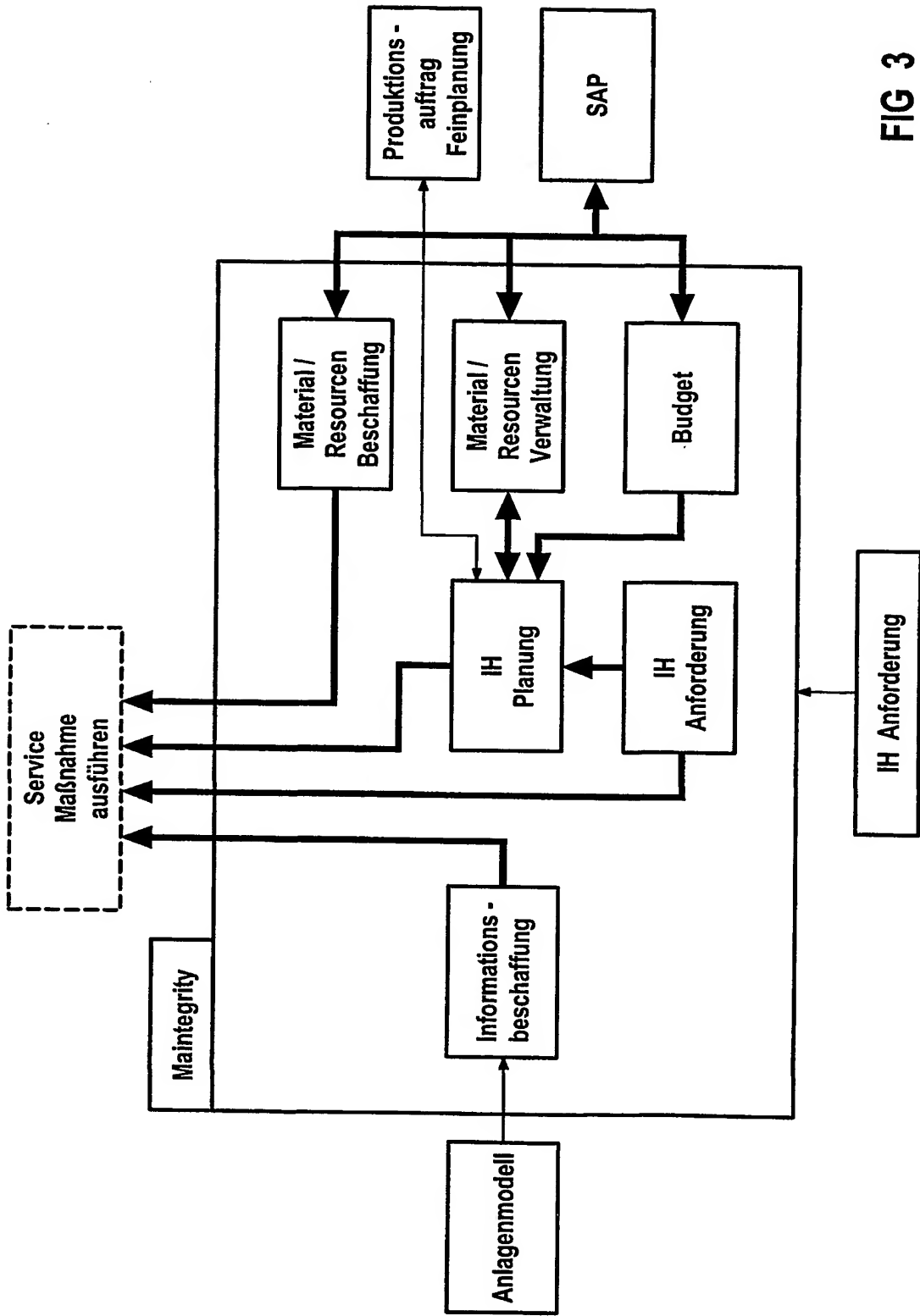


FIG 3

Description

Method and device for maintenance

- 5 The present invention relates to a device and method for maintaining a system in which a real process is handled.

Necessary maintenance measures are generally carried out on an event-controlled or time-triggered basis. With event-controlled
10 maintenance measures, a process component will be replaced or repaired if it has failed. In the case of time-triggered maintenance, on the other hand, maintenance measures are performed at regular intervals, the aim being to prevent outage of the process facility.

- 15 Preventive maintenance is of paramount importance especially where highly complex facilities are concerned: The outage, for instance, of a production facility can give rise to very high costs. That is why complex facilities are frequently monitored by sensors and the measurements used to detect a need for maintenance. This typically
20 entails performing measurements on components of a facility and recording these measurements during the process. Changes in the measurements allow tendencies to be recognized that may necessitate maintenance measures. For example, pressure may rise in a facility over time, indicating a blocked pipeline, for instance. As further
25 examples, vibrations may point to a worn bearing and measurements performed on the phase angle delta in a motor drive may indicate unfavorable drift. However, not in every facility can individual components be constantly monitored for wear and the like: Monitoring may be uneconomical in the case, for example, of very high
30 process temperatures or facilities of very compact physical design, or if individual components are extremely complex.

The object of the present invention is thus to improve or expand
the possibilities of detecting a need for maintenance in facilities
35 and systems.

This object is achieved according to the invention by means of a method for maintaining a system by executing a real process in the system, by executing a simulation process synchronously with the real process, with the simulation process simulating at least a
5 part of the real process, by comparing the simulation process with the real process or said part thereof, with a comparison result being obtained from this, and by deriving maintenance measures from the comparison result.

10 The above object is further achieved by means of a device for maintaining a system on which a real process with one or more real process steps can be executed, with a simulation device for simulating at least a part of the real process by means of a simulation
15 process, the simulation process being executable synchronously with the real process, with a comparison device for comparing the simulation process with the real process with a comparison result being obtained, and with a control device for initiating a maintenance measure on the basis of the comparison result.

20 Production-driven maintenance can hence be advantageously facilitated by the invention, with the simulation of the process running in parallel with the real process. During this, the simulation process can be supplied with, for example, associated production parameters.

25 Further advantageous developments of the device according to the invention and of the method according to the invention can be found in the subclaims.

30 The present invention will now be described in more detail with the aid of the attached drawings, in which

FIG 1 shows a data flow diagram of a real process and a simulation process running in parallel according to the invention;

35

FIG 2 shows a signal flow diagram for alerting and predicting a

need for maintenance; and

FIG 3 shows a signal flowchart for implementing maintenance measures.

5

The exemplary embodiments described below show preferred embodiments of the present invention.

FIG 1 shows, in its left half, a schematic signal flowchart of a control of a real process and, in its right half, that of a simulation process running in parallel. The order controller or what is called a scheduler serves as a starting point for controlling the real process. A recipe control (batch flexible) is driven with the order data. The recipe control obtains the required recipe(s) from a database, namely the recipe administration. This drive is suitable for both batch-processing processes (batch) and continuous processes.

Actual facility control or automation takes place in the block in FIG 1 designated "sequence logic". A separate component between the recipe control and sequence logic coordinates the instructions with regard to semantics.

The sequence logic is associated with several function blocks FB which are responsible for automating individual steps. Via an input/output periphery the sequence logic and function blocks then exchange instructions and measurements with the process components of the real process. A simple production process performed within a simplified facility could serve as an example of a real process. A container is linked to a reactor via a pipe. The reactor contains two generating sets, a mixer, and a heater set. The container is filled with a certain substance. During the production process the reactor could first be filled with the substance from the container then heat and mix said substance. The relevant process steps are filling, heating, and mixing. Each of these individual process steps or basic operations has its own internal sequence of instruc-

- tion steps which is implemented in the sequence logic. The process step 'fill' may, for example, comprise the instructions: Check status of cellular wheel sluice, open slide gate, check fill level etc. In a recipe for producing a certain substance the individual process steps are precisely specified. Similar to a cooking recipe, the control recipe contains parameters such as process times, process temperatures etc. A set sequence of process steps is also specified.
- 10 The individual process steps are sequenced in the sequence logic and the respective start and end time specified. Facility components are individually controlled by function modules as directed by the sequence logic.
- 15 A corresponding simulation process is shown on the right-hand side of the figure in FIG 1. Like the real process system, the simulation system consists of a coordination module followed by the sequence logic and equipment function modules. The input/output periphery of the real process is simulated by a logical periphery.
- 20 The real process itself must be simulated, on the one hand, in its components and, on the other hand, in the process flow itself. The components are simulated in what is called an equipment simulation, and the equipment simulation modules are suitably linked together for the process simulation.
- 25 The logical periphery and equipment simulation can be generated automatically by a semantics manager from a library of RB classes (reaction modules).
- 30 Equipment master data, substance master data, and pipeline master data etc. flow into the process simulation. Equipment master data comprises, for example, the diameter of containers, features of valves, pumps etc. Substance master data comprises quantities, grain size distribution etc. of the substance used. Lastly, the pipeline master data corresponds to dimensions and other relevant variables of the pipelines used. All the master data can be filed
- 35

in libraries.

According to the invention the real process is then synchronized with the simulation process. The two processes consequently run in parallel so as to make a direct comparison of the process results possible. It is not necessary here to simulate the entire real process; instead, a particularly critical process step, for example, can be simulated which requires, for instance, constant monitoring.

The process simulation is favorably co-controlled by the order controller of the real process. It is, however, also possible to provide a separate control for the simulation. Moreover, the process simulation preferably obtains the recipes from the recipe administration of the real process. This direct linking to the real process is one of the prerequisites for automatic engineering of the simulation. In any event it is definitely helpful for this.

The simulation allows the entire facility and/or major parts of it to be simulated as a virtual facility. Selectively simulating parts of the facility and comparing the relevant virtual and real process steps allow the need for maintenance to be localized to a degree commensurate with the size of the simulation component. For example, critical parts of the facility can be subdivided into finer process steps in order better to localize the need for maintenance. Where non-critical parts of the facility are concerned, several components can be combined both during measuring of the real process and during the simulation. If a fixed deviation or a deviation increasing with time is then detected on the basis of the comparison of the results of process steps in the real and virtual process, appropriate maintenance measures can be initiated.

According to the invention the behavior of a facility from a process control viewpoint is examined so that a need for maintenance can be detected in a timely fashion. This means that, for example, the vibrating of a pump is not measured so that conclusions can be

drawn about a worn bearing; instead, the flow through the pump is measured and compared with a simulated ideal flow so that the pump's aging can be detected.

- 5 In a development of the invention it would also be possible to simulate the behavior of the substance which is contained within the facility and being processed. Conclusions could be drawn about the facility from the simulated and real chemical conversion - process. For example, deviations in a substance's physical state, such a viscosity, could indicate a defective cooling device. Equally, differences between the simulated and measured PH value, for instance, could indicate a defective mixer.

15 Whether the physical parameters of the substance located within the facility or typical variables of the facility, such as the throughput rate, are used for diagnostic purposes, is of secondary importance provided the simulation process runs, according to the invention, in parallel with the real process and individual results of process steps or overall results of the process as a whole are compared. For the respective comparison it is necessary for the start and end of each process step being compared to be defined and recognized. Unique indicators for a need for maintenance can also be determined. For example, unusually long filling times or excessive heating times can be recognized that deviate from normal facility operation. These differences do not necessarily result in an outage of the entire facility or the production of rejects; they may merely indicate that the facility is not running according to the planned optimum.

- 30 Appropriate maintenance measures can be carried out in keeping with the magnitude of the deviations. Simply a warning can be directed to the maintenance team if there is only a slight difference between the real and simulated process. In the case of major differences a fault message can be issued signaling an immediate need for maintenance.
- 35

The diagnostic information obtained from parallel running of the real and simulated process can also be used to optimize the facility. If, for example, the facility is run using a changed recipe, the process steps and/or their sequence will also change. The facility controller or scheduler converts the new recipe into time flows or time slices. In the case of multi-substance facilities, for example, these time slices must be coordinated as a function of the different substances and facility components. The aim here is to utilize all parts of the facility to optimum capacity. To improve scheduling online, the simulation process can run in parallel with the real process. Optimization can thereby be achieved without the need for the facility to be idle.

As already mentioned, a meaningful comparison between real and simulated process steps requires precise synchronizing. A precise starting point must also be specified, which is done by initializing. As indicated in FIG 1 by a broken line, initializing of the simulation process can be controlled online by the sequence logic of the original facility. For example, it is possible to ensure that a container in the original facility and in the simulation has in each case a defined fill level at a specific process step in a specific recipe.

The single arrows in FIG 1 signify signal links or action links, and the double arrows signify data connections which are necessary for, for example, parameterizing and engineering.

FIG 2 shows a schematic signal flowchart for obtaining a maintenance request on the basis of the diagnosis resulting from the comparison between the real process and simulation process running in parallel. Explanations of the modules can be found in the table at the end of the description.

FIG 3 shows a signal flowchart showing further processing of a maintenance request in a maintenance management system. According to this, service measures are performed if necessary on the basis

of information provisioning, material/resource provisioning, maintenance planning, and the maintenance request. Material/resource administration and the budget have an impact here on maintenance planning. The facility model also serves for information provisioning.

5

Table

Component	Function	Task
<u>PLC</u>	Logic in TF	<p>Suppression of follow-up message.</p> <p>Example 1: Outage of the alerting voltage (simultaneously) takes all the messages from the monitoring loop fed by the alerting voltage ("contacts").</p> <p>Example 2: All messages must be suppressed in on-site operation (from a repair counter).</p> <p>Module message</p> <p>Example 1: Check-back monitoring (protective check-back, rotation speed check-back, operating time message)</p> <p>Example 2: Operating mode changeover</p>
	Process data logging	<p>Make process values available that are required for cross-area logic (event-triggered, in the case of measurements for change with dead band)</p>
	Logic between TFs	<p>Technological monitoring of a PLT location.</p> <p>Example 1: A jump in setpoint value on a regulator must result a rise in the actual value.</p> <p>Example 2: Manipulated variable of a regulator increases with no change in the setpoint value</p>

		(wear on valve seating). Example 3: Pressure or flow measurement on pump group
	Usage-dependent maintenance	Operating cycle/operating time counter Count the operating hours or operating cycles, generate IH request if a parameterized threshold is exceeded
	Section chain monitoring	Time monitoring for indexing condition
<u>PDM</u>	Scan field devices	Information from intelligent field devices PDM (AMS) scans the accessible field devices and transfers messages (selected by parameterizing) . Live monitoring of intelligent field devices PDM (AMS) scans the planned field devices and generates a message if a planned device cannot be accessed.
	Should be/as is comparison Project	Comparison planning - as is PDM (AMS) scans the accessible field devices and generates a message if planning is not as is (read field device not in the project).
<u>CBA</u>		
<u>CM</u>	Condition monitoring	Example 1: Vibration monitoring on machine

		<p>Example 2: Electrical fingerprint for motor</p> <p>Example 3: HISS (smell, hear, taste)</p>
<u>HMI</u>	Operation of operating or recipe parameters	Example: "Standard deviation" parameter for fault message dependent on operating mode
	Alarms	Planned alarms = IH request
<u>Diag</u>	Facility behavior	<p>Comparison of current facility behavior with history.</p> <p>Example 1: How long has it taken so far to bring material x in unit y from m to n fill height?</p> <p>Comparison with current step.</p> <p>IH request via user action with GUI support.</p> <p>User generates IH request</p> <p>Necessary: Facility behavior archive or (at least) parameterized comparison values</p>
	Logic between TFs	<p>Technological monitoring of part of a facility</p> <p>Logic or rules on a cross-area basis over several PLT locations (on several PLCs, where applicable)</p>
	Diagnostic message	<p>Message frequency</p> <p>Example 1: Specific report numbers from a specific TP are (interactively) "set to diagno-</p>

		<p>sis" and continuously monitored from then on until a suspected fault cause has been recognized/analyzed.</p> <p>Example 1: Suspicion of increased outage rate of a motor drive: The report numbers, protective check-back, and bimetal message generate a diagnostic message if more than 5 messages occurred per shift.</p>
	Simulation evaluation	<p>Compare the result of process/equipment simulation with real process/facility results. Decision rules specifying when a comparison between simulation result and as-is facility is ok/ not ok and (in the case of process simulation) assignment to asset.</p>
	Behavior evaluation	<p>Compare value from facility behavior archive or from facility behavior (with fixed values determined in IBS/trial operation) with real facility results. Otherwise as above.</p> <p>Note: Simulation evaluation is advantageous in the case of multi-purpose facilities where a meaningful facility behavior archive is not ensured on account of the multi-</p>

		<p>plicity of products/recipes.</p> <p>Behavior evaluation is advantageous in the case of "single-purpose" facilities and conti-/semiconti facilities.</p>
<u>Sim</u>	Process simulation	<p>Technological monitoring of recipe steps</p> <p>SIMIT has models of the facility GOs (mix, heat, fill etc.). Each individual model has parameters (substance, unit, and product parameters). The simulation runs under BF control (BF gives the step start, with the parameter set valid for the step and the end criterion (e.g. final temperature 92°C), to SIMIT. SIMIT starts simulation and, on attainment of the end criterion, gives the result parameter set defined for the GO to Diag. SIMIT has (as yet) no command of substance conversions; operations of this type (e.g. "reaction", "synthesis") have to be simulated by simple empirical equations if a pass is to be made through several GOs in a "simulation chain". No project-specific engineering work is necessary because this method runs under the control of BF. SIMIT "only" needs models that are</p>

		process/project neutral.
	Equipment behavior	<p>Technological monitoring of the equipment behavior</p> <p>SIMIT has models of the (technological) equipment behavior (e.g. resistance heating element with time behavior, heat transition, heat flow in the substance etc.).</p> <p>Otherwise analogous to the above</p>
<u>Arch</u>	Facility behavior archive	<p>History of the product- and substance-/material-dependent time behavior of parts of the facility, units, equipment, and also relevant (fixed) parameters.</p> <p>Different embodiments for the process industry and discrete (manufacturing) industry:</p> <p>Process industry: Objects are steps in the flow such as filling, heating etc. and equipment (S 88), not the objects of the facility model such as a pump, regulating valve etc.</p> <p>Discrete industry: Objects are the "machines" of the facility model.</p>

Claims

1. Method for maintaining a system

5 by executing a real process in the system

characterized by

10 executing a simulation process synchronously with the real process,
with the simulation process simulating at least a part of the real
process,

15 comparing the simulation process with the real process or the part
thereof and obtaining a comparison result from this, and

deriving maintenance measures from the comparison result.

20 2. Method according to Claim 1 wherein synchronizing with the real
process takes place for executing the simulation process.

25 3. Method according to Claim 1 or 2 wherein the simulation process
and real process each comprise several steps and wherein at least
one of the steps in each case is compared with the other for the
purpose of deriving maintenance measures.

30 4. Method according to one of the Claims 1 to 3 wherein comparing
takes place using end results of the real process and simulation
process relating in particular to process-control-related variables
and/or component results from one or more steps of the real process
and simulation process relating in particular to process-control-
related variables.

35 5. Method according to one of the Claims 1 to 4 wherein the real
process and simulation process are controlled jointly by a single
control device.

6. Method according to one of the Claims 1 to 5 wherein a maintenance measure is an alarm and/or activation of a maintenance system.
- 5 7. Method according to one of the Claims 1 to 6 wherein a simulation process structure is automatically generated from a real process structure, in particular using a generic simulation model.
8. Method according to one of the Claims 1 to 7 wherein the simulation process is supplied with substance and/or production parameters from the real process.
- 10 9. Device for maintaining a system on which a real process with one or more real process steps can be executed
- 15 characterized by
- a simulation device for simulating at least a part of the real process by means of a simulation process wherein the simulation process can be executed synchronously with the real process,
- 20 a comparison device for comparing the simulation process with the real process, with a comparison result being obtained from this, and
- 25 a control device for initiating a maintenance measure on the basis of the comparison result.
10. Device according to Claim 9 wherein the simulation process in the simulation device can be synchronized with the real process.
- 30 11. Device according to Claim 9 or 10 wherein the simulation process and real process in each case comprise several steps and wherein at least one of the steps in each case can be compared with
- 35 the other in the comparison device.

12. Device according to one of the Claims 9 to 11 wherein comparing
can be carried out in the comparison device using end results of
the real process and simulation process relating in particular to
process-control-related variables and/or component results from one
5 or more steps of the real process and simulation process relating
in particular to process-control-related variables.
13. Device according to one of the Claims 9 to 12 wherein the real
process and simulation process can be controlled jointly by a sin-
10 gle control device.
14. Device according to one of the Claims 9 to 13 which is embedded
in a maintenance system.
- 15 15. Device according to one of the Claims 9 to 14 wherein a simula-
tion process structure can be automatically generated from a real
process structure, in particular using a generic simulation model.
- 20 16. Device according to one of the Claims 9 to 15 wherein the simu-
lation device can be supplied with production parameters from the
real process.

